

# Vorstellungsvortrag im Seminar Meteorologie im Verkehrswesen im SS 2021 “Reibwert und Trajektorienanalyse”

*Claudia Leschik (claudia.leschik@dlr.de)*

*Institut für Verkehrssystemtechnik (TS), Braunschweig / Berlin*

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)*

*<https://www.dlr.de/ts/>*

*18.05.2021*



Wissen für Morgen



# Hintergrund

2010

Abitur in Lübben, Spreewald

2010 - 2016

Bachelor of Science, Meteorologie (FU Berlin)

2014 - 2019

Studentische Hilfskraft (TU Berlin, Fachgebiet: Kraftfahrzeuge)

2016 - 2020

Master of Science, Meteorologie (FU Berlin)

seit Mai 2020

Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Doktorandin (DLR)  
(Berlin / Braunschweig)

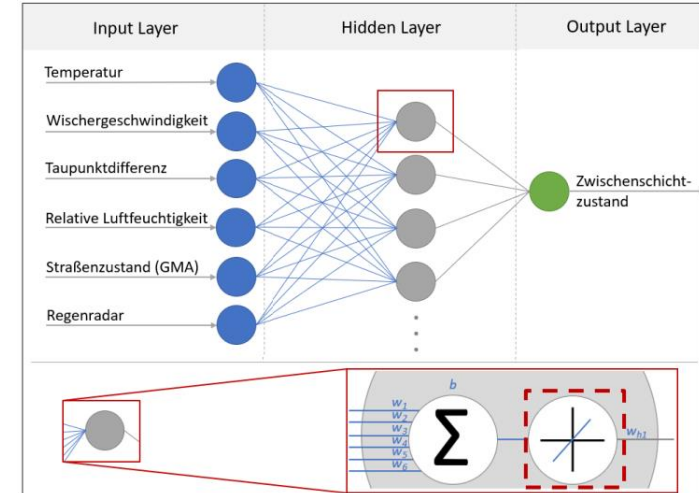


Abbildung 1: (v.l.n.r) Bienenkasten im Botanischen Garten Berlin, Messfahrzeug KFZB in Linthe, KNN Reibwertschätzung eigene MA



**Teil 1:**  
**“Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen”**  
**an der TU Berlin, Fachbereich Kraftfahrzeuge**  
**08.2014 – 09.2019**



Wissen für Morgen



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Reibwertpotentialschätzung



Abbildung 2: VZ 114  
"Schleudergefahr"

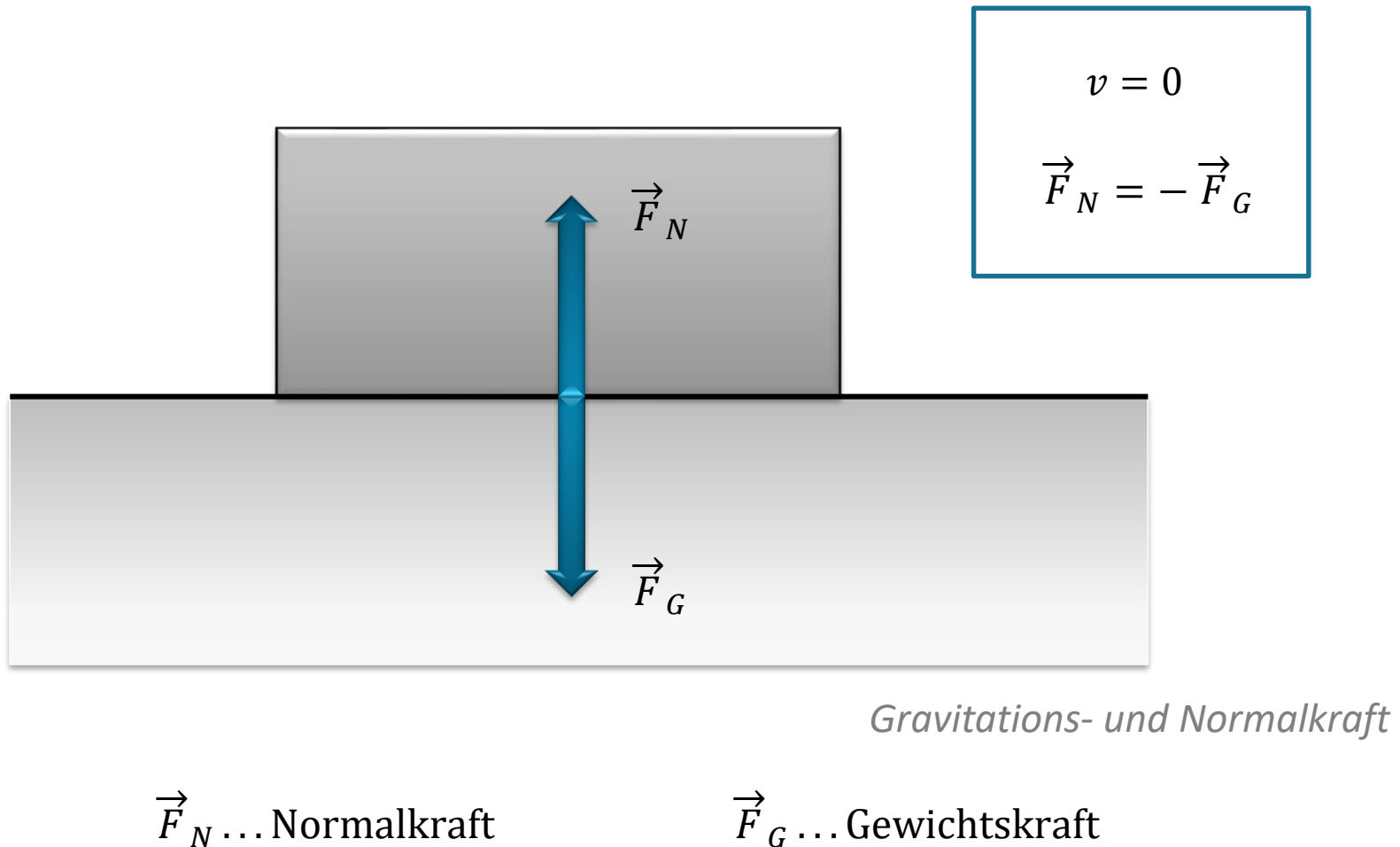
- Maßgeblicher Einfluss auf den Reibwert:
  - Reifeneigenschaften (Mischung, Laufstreifen, ...)
  - Fahrbahneigenschaften (Geometrie, Fahrbahndecke, ...)
  - Fahrzeugeigenschaften (Geschwindigkeit, Radstellung, ...)
  - Zwischenmedium (Zwischenschichtzustand, Schichtdicke, ...)





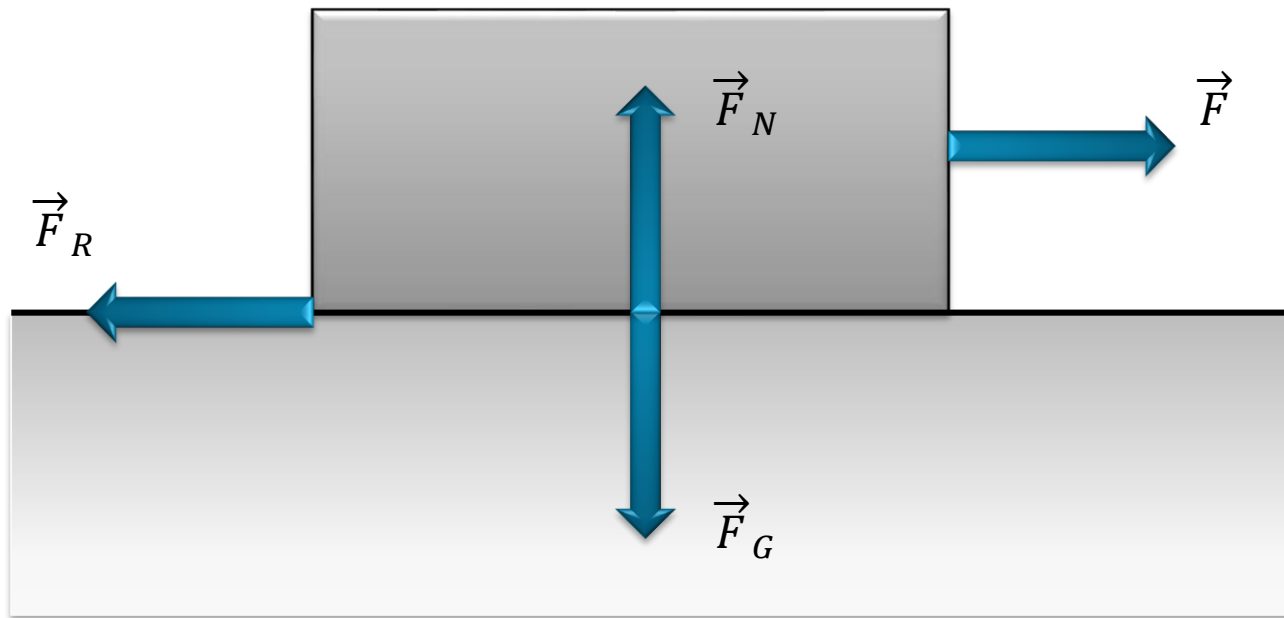
# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



*Gravitations- und Normalkraft*

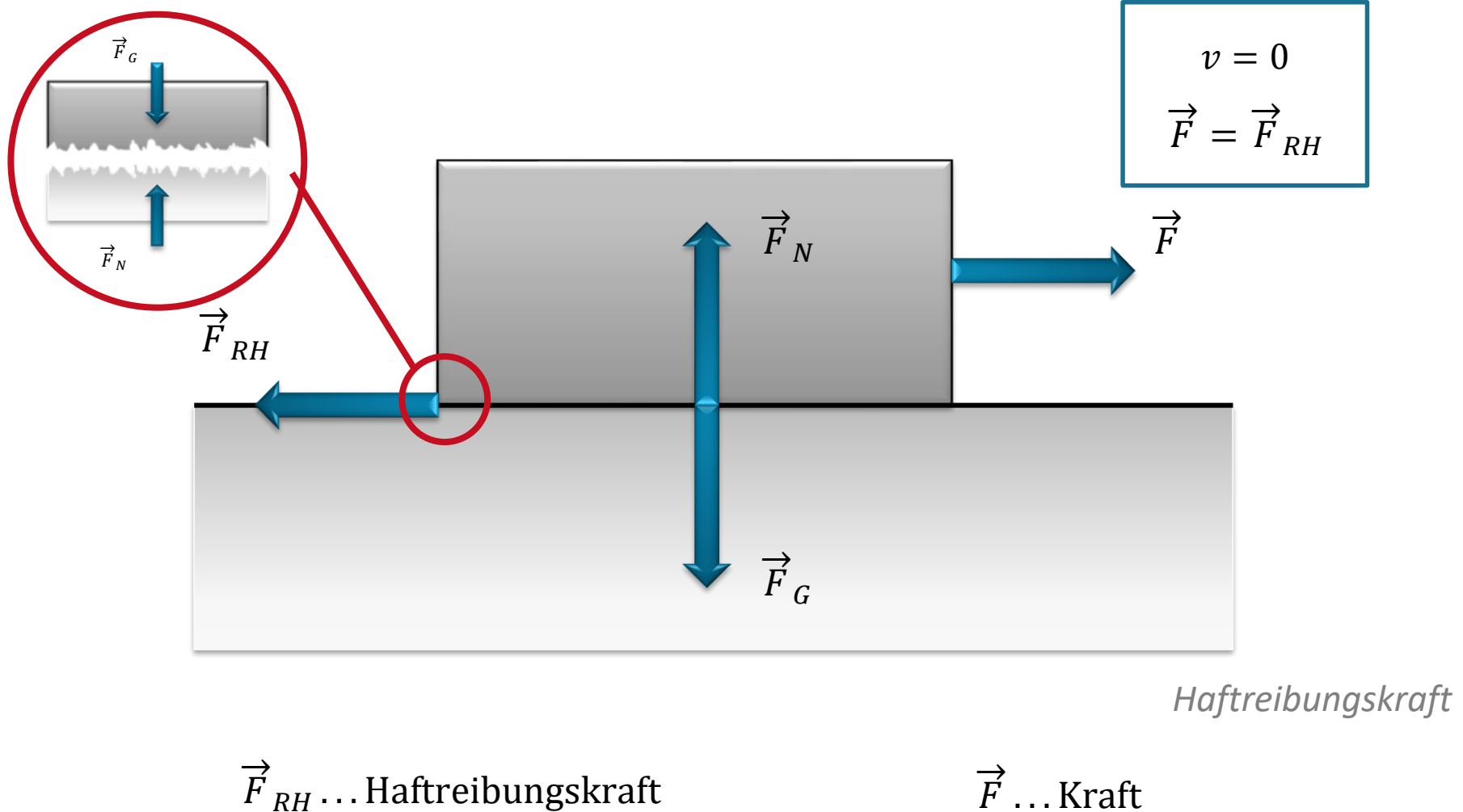
$\vec{F}_R \dots$  Reibungskraft

$\vec{F} \dots$  Kraft



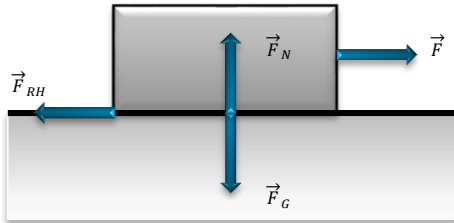
# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



- liegt vor, wenn beide Körper sich zueinander in Ruhe befinden ( $v = 0$ )
- ist der angreifenden Kraft entgegen gerichtet

$$|\vec{F}_{RH}| < \mu_H |\vec{F}_N| \quad (\text{Haftung})$$

$$|\vec{F}_{RH_{max}}| = \mu_H |\vec{F}_N| \quad (\text{Grenzhaftung})$$

### Beispiele für Haftreibungskoeffizienten (Richtwerte): $\mu_{RH}$

Stoff	$F_{RH}$ , trocken
Stahl auf Stahl	0,2
Stein auf Holz	0,9
Stahl auf Eis	0,03
...	...

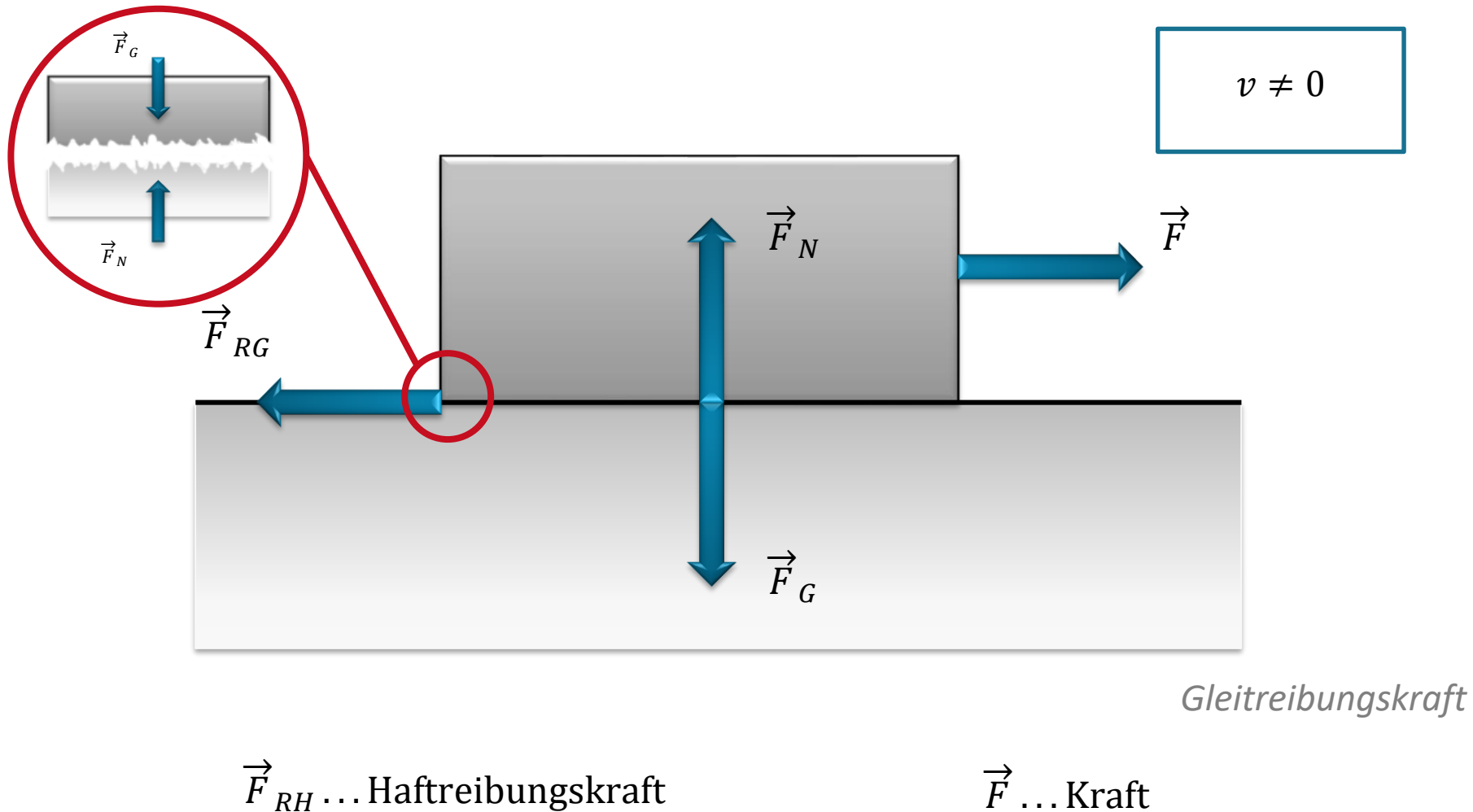
*Haftreibungskraft*





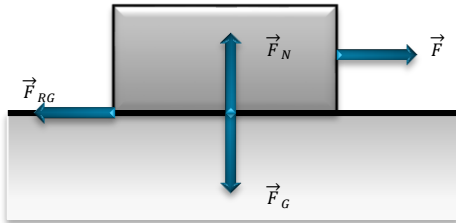
# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



- liegt vor, wenn ein Körper auf einen anderen gleitet ( $v \neq 0$ )
- ist der angreifenden Kraft entgegen gerichtet

$$|\vec{F}_{RG}| = \mu_G |\vec{F}_N|$$

### Beispiele für Haftreibungskoeffizienten (Richtwerte): $\mu_{RH}$

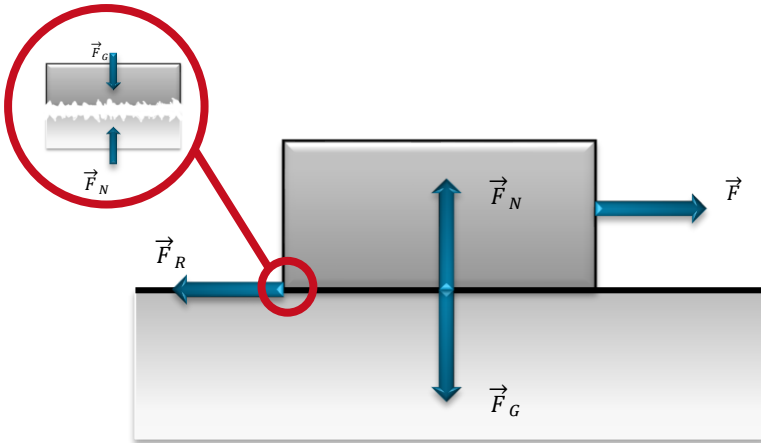
Stoff	$F_{RG}$ , trocken
Stahl auf Stahl	0,1
Stein auf Holz	0,7
Stahl auf Eis	0,01
...	...

*Gleitreibungskraft*



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



### Reibungskraft (nach Coulomb):

$$|\vec{F}_R| = \mu_R |\vec{F}_N|$$

#### Haftreibung:

>

#### Gleitreibung:

>

#### Rollreibung:



$$v = 0$$

$$v \neq 0$$

$$v \neq 0$$

$$|\vec{F}_{RH}| \leq \mu_H |\vec{F}_N|$$

$$|\vec{F}_{RG}| \leq \mu_G |\vec{F}_N|$$

$$|\vec{F}_{RR}| \leq \mu_R |\vec{F}_N|$$

$$|\vec{F}_{RH_{max}}| = \mu_H |\vec{F}_N|$$

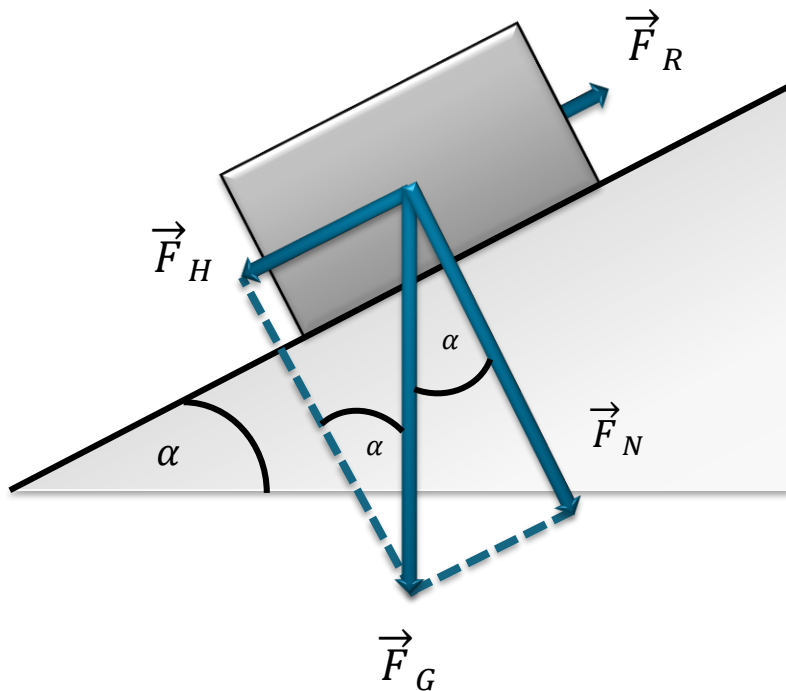
$$\vec{F} > \vec{F}_{RG}$$

$$\vec{F} > \vec{F}_{RR}$$



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung



$\vec{F}_H$  ... Hangabtriebskraft

$$\vec{F}_G = mg$$

$$\vec{F}_H = \vec{F}_G \cdot \sin \alpha = mg \cdot \sin \alpha$$

$$\vec{F}_N = \vec{F}_G \cdot \cos \alpha$$

- Körper beginnt zu rutschen, wenn:

$$\vec{F}_G \cdot \sin \alpha = \mu_{RH} \vec{F}_G \cos \alpha$$

- Bestimmung des Haftreibungskoeffizienten:

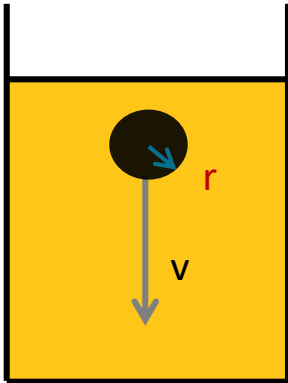
$$\mu_{RH} = \tan \alpha$$

*Schiefe Ebene*



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Stokesche Reibung



### Stokesche Reibung

Beispiele:

- Kugel in Öl
- Aquaplaning
- ...

$$\vec{F}_{VR} = -6\pi r \eta \vec{v}$$

$\vec{v}$  ... Geschwindigkeit

$r$  ... Kugelradius

$\eta$  ... dyn. Viskosität

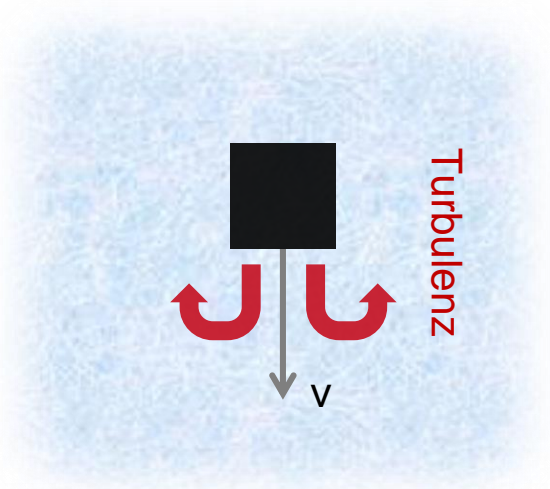
*Viskose Reibungskraft*





# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Newtonsche Reibung



### Newton-Reibung

Beispiele:

- schnell fahrendes Fahrzeug
- Freier Fall ( $v = \text{groß}$ )
- ...

$$\vec{F}_{NR} = 1/2 c_W \rho A v^2$$

$c_W$ ...Widerstandskoeffizient

$A$ ...Flächeninhalt(Körper)

$\rho$ ... Dichte(Fluid)

$v$ ... Geschwindigkeit(Körper)



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert – Coulombsche Reibung / Gummireibung

## Haftreibungskraft

- stehende Objekte



## Gleitreibungskraft

- rutschende/gleitende Objekte
- stehendes Objekt mit durchdrehenden Reifen



## Rollreibungskraft

- während der Fahrt



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Gummireibungstheorie

### **Adhäsion**

Reibungstheorie zwischen Gummi und Fahrbahnoberfläche (molekularer bis mikroskopischer Bereich)

### **Hysteresese**

Unebenheiten der Fahrbahn führen zu einer Verformung des Gummis (mikroskopischer Bereich)

### **Viskose Reibung**

Tritt auf, wenn sich ein Zwischenmedium zw. Reifen und Fahrbahn befindet (Sand, Wasser...)

### **Kohäsion**

Risse im Gummi, Verschleiß

### **Verzahnung**

Verkantung zw. Reifenprofil und Rauheit der Straße



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Kurzer Exkurs: Reibung / Reibwert

### Erwünschte Reibung:



- Laufen ist möglich
- Schraubverbindungen halten
- Bremsen vom Auto
- ...

### Unerwünschte Reibung:



- teilweise in Maschinen (werden geölt)
- Reibung erzeugt Wärme → Geräte müssen gekühlt werden
- Wintersport mindert Reibung die Geschwindigkeit
- ...



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Reibwertpotentialschätzung



Abbildung 2: VZ 114  
"Schleudergefahr"

- Maßgeblicher Einfluss auf den Reibwert:
  - Reifeneigenschaften (Mischung, Laufstreifen, ...)
  - Fahrbahneigenschaften (Geometrie, Fahrbahndecke, ...)
  - Fahrzeugeigenschaften (Geschwindigkeit, Radstellung, ...)
  - Zwischenmedium **Zwischenschichtzustand**, Schichtdicke, ...)





# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Zwischenschichtzustand

- Der Zwischenschichtzustand gibt Auskunft darüber, ob die Straßenoberfläche (Asphalt, Beton, Kopfsteinpflaster) **trocken, feucht, nass** oder **verschneit/vereist** ist.

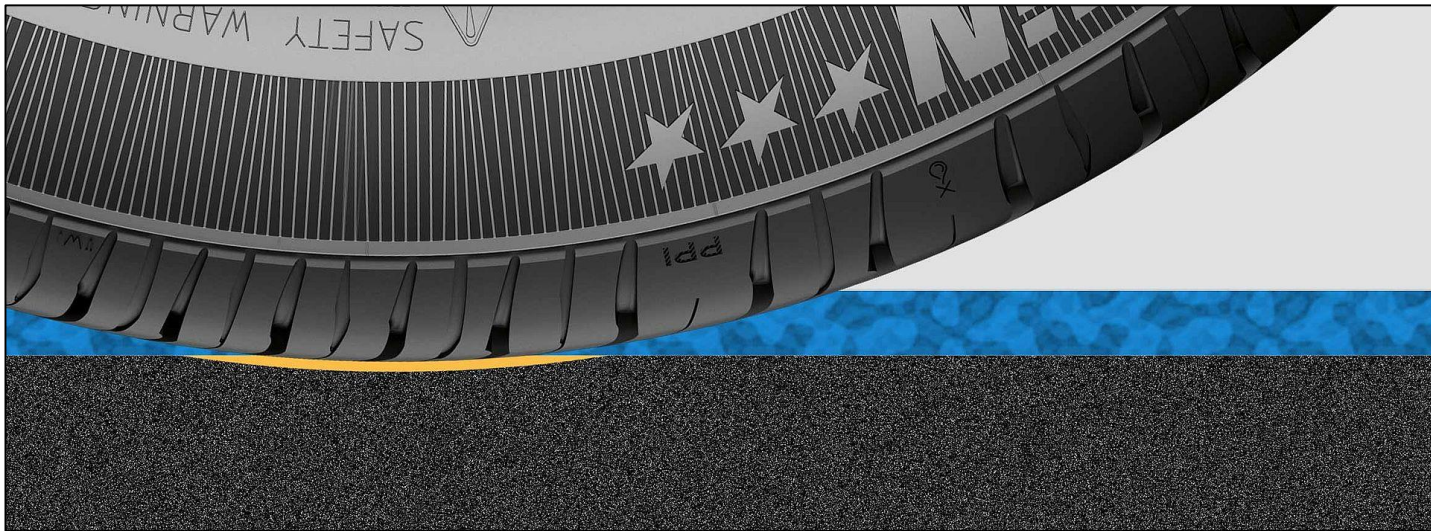
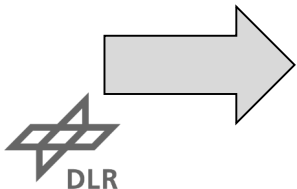


Abbildung 4: Reifenprofil, Zwischenschicht und Fahrbahn



Zwischenschichtzustand hat einen großen Einfluss auf den Reibwert und muss bekannt sein bzw. gut geschätzt werden.



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Nutzen



Abbildung 5: Beispiel für autonomes Fahren

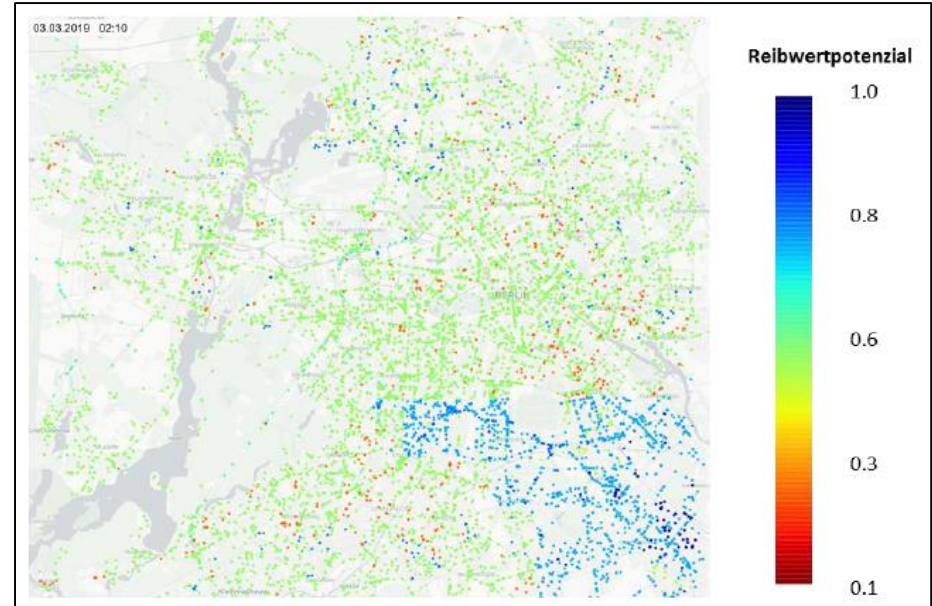


Abbildung 6: Geschätztes Reibwertpotenzial in Berlin

## Autonomes Fahren

Erstellen von Karten mit  
hinterlegter Information zum

- Zwischenschichtzustand
- Reibwert



# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Zwischenschichtschätzung

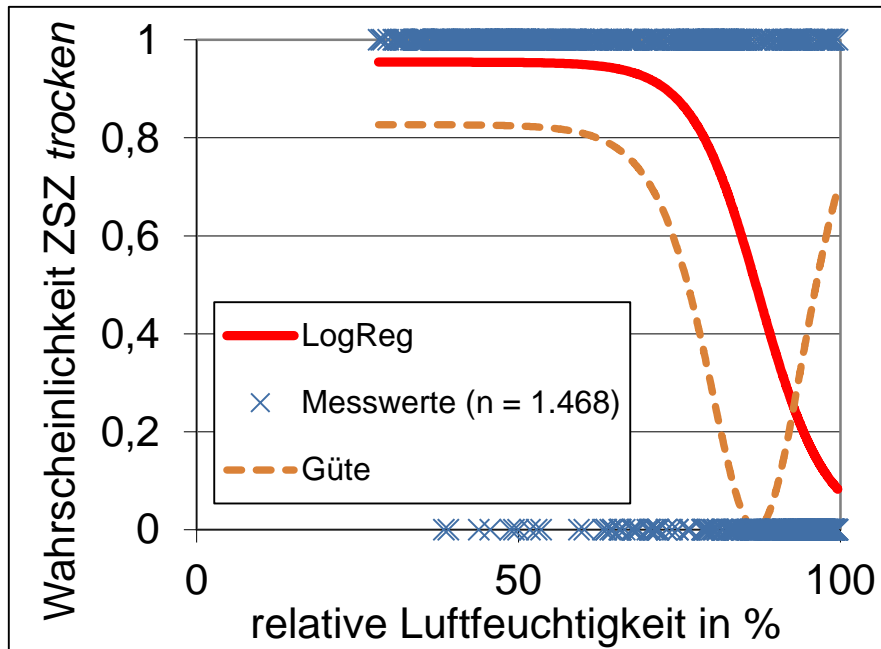


Abbildung 7: Anlernkurve Logistische Regression

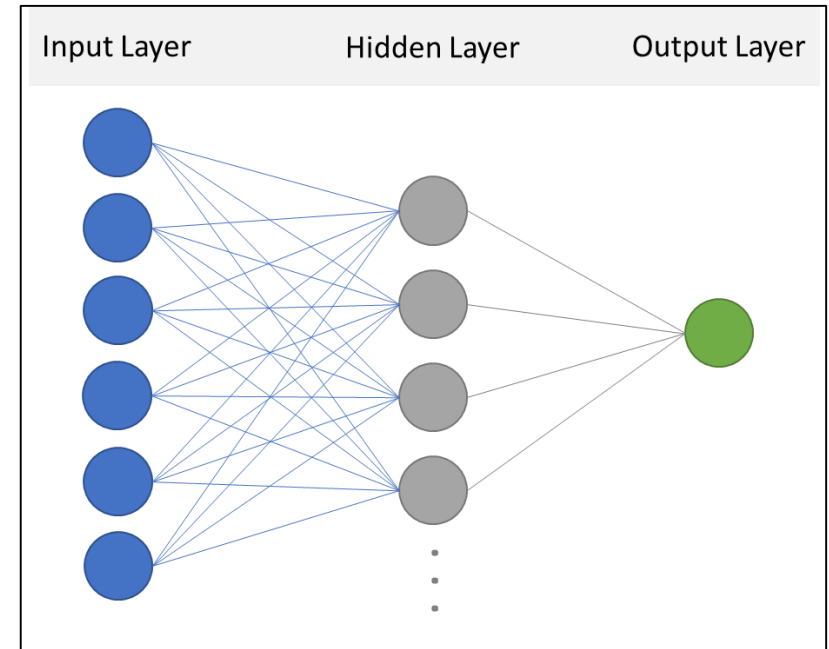


Abbildung 8: Beispielaufbau für ein KNN

**3-Ebenen Logistische Regression**  
Trefferquote: 87,5 % (TUB)

**Künstlich Neuronales Netz**  
Trefferquote: ?





# Unfallvermeidung durch Reibwertprognose

## Überblick / Erhebung

**Ziel:** Entwicklung eines ursachenbasierten Schätzverfahrens für die Abschätzung von Bereichen oder Grenzen für den maximalen Reibwert unterhalb des Fahrzeugs (ohne und mit zusätzliche(r) Fahrzeugsensorik)

- Projektlaufzeit: 2014 – 2019
- 5.909 erhobene Bremsungen (inkl. Schweden)
- Geldgeber FAT und BASt

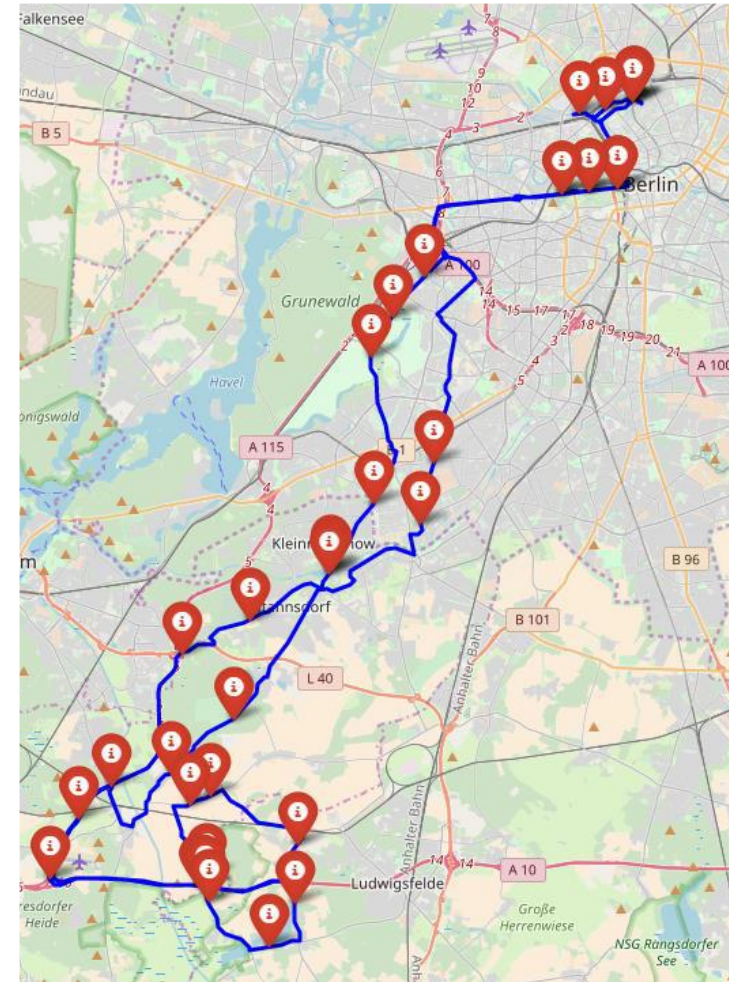


Abbildung 9: Messstrecke

# Datengrundlage

## Eingangsgrößen

### Fahrzeugintern



- Außenlufttemperatur
- Wischergeschwindigkeit

Abbildung 10-13: v.o.l.n.u.r: Messfahrzeug;  
Wetterstation im Botanischen Garten, Berlin;  
Glättemeldeanlage Fahlhorst, Berlin;  
Wetterkarte



### Externe Quellen

#### Wetterstationen



- Relative Luftfeuchtigkeit
- Taupunkt(differenz)



- Straßenzustand



**niederschlagsradar.de**





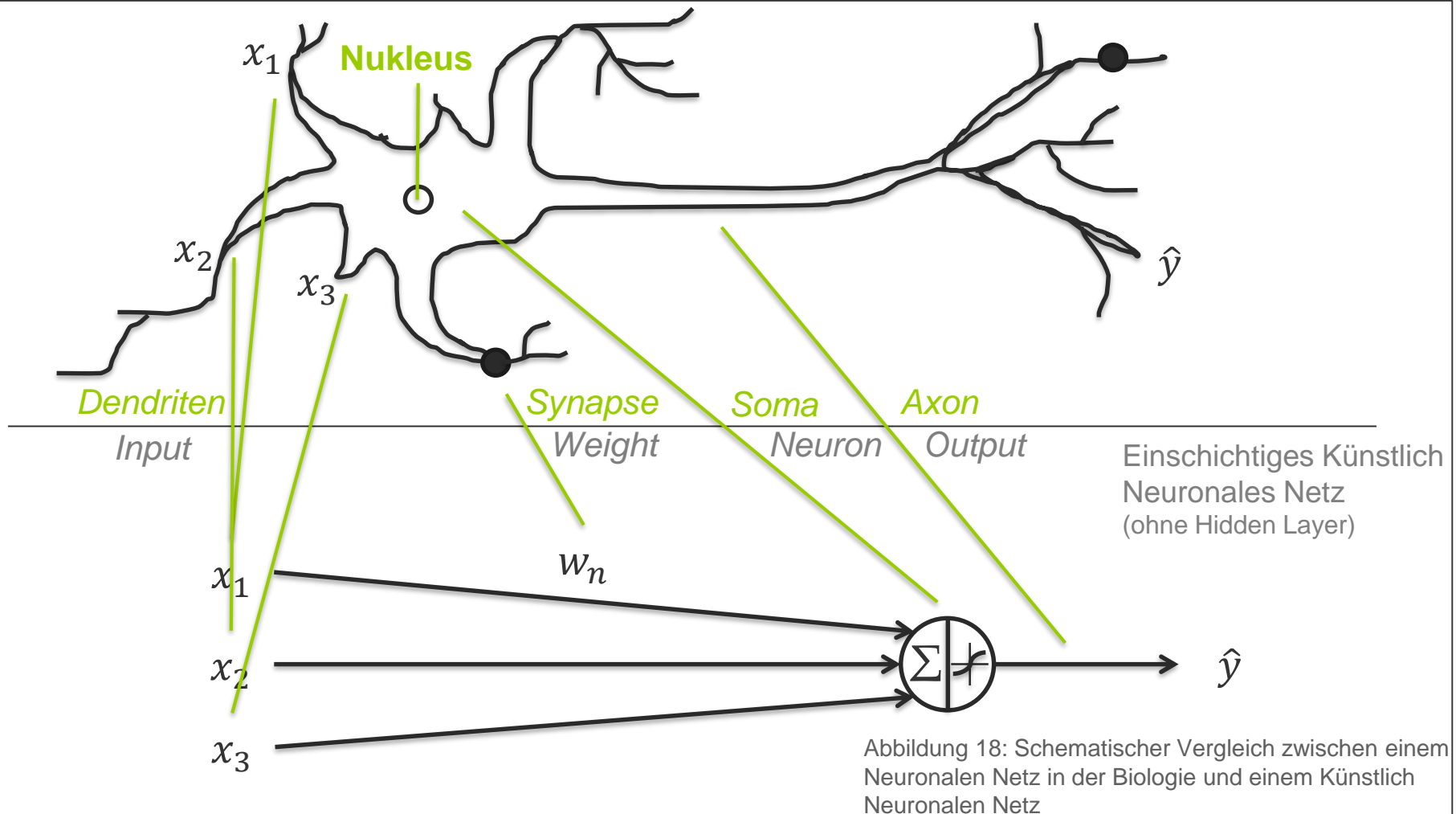
# Datengrundlage

## Zwischenschichtzustände



# Künstlich Neuronales Netz

## Aufbau: Biologie und Einschichtiges KNN



# Künstlich Neuronales Netz

## Aufbau: Zweischichtiges KNN

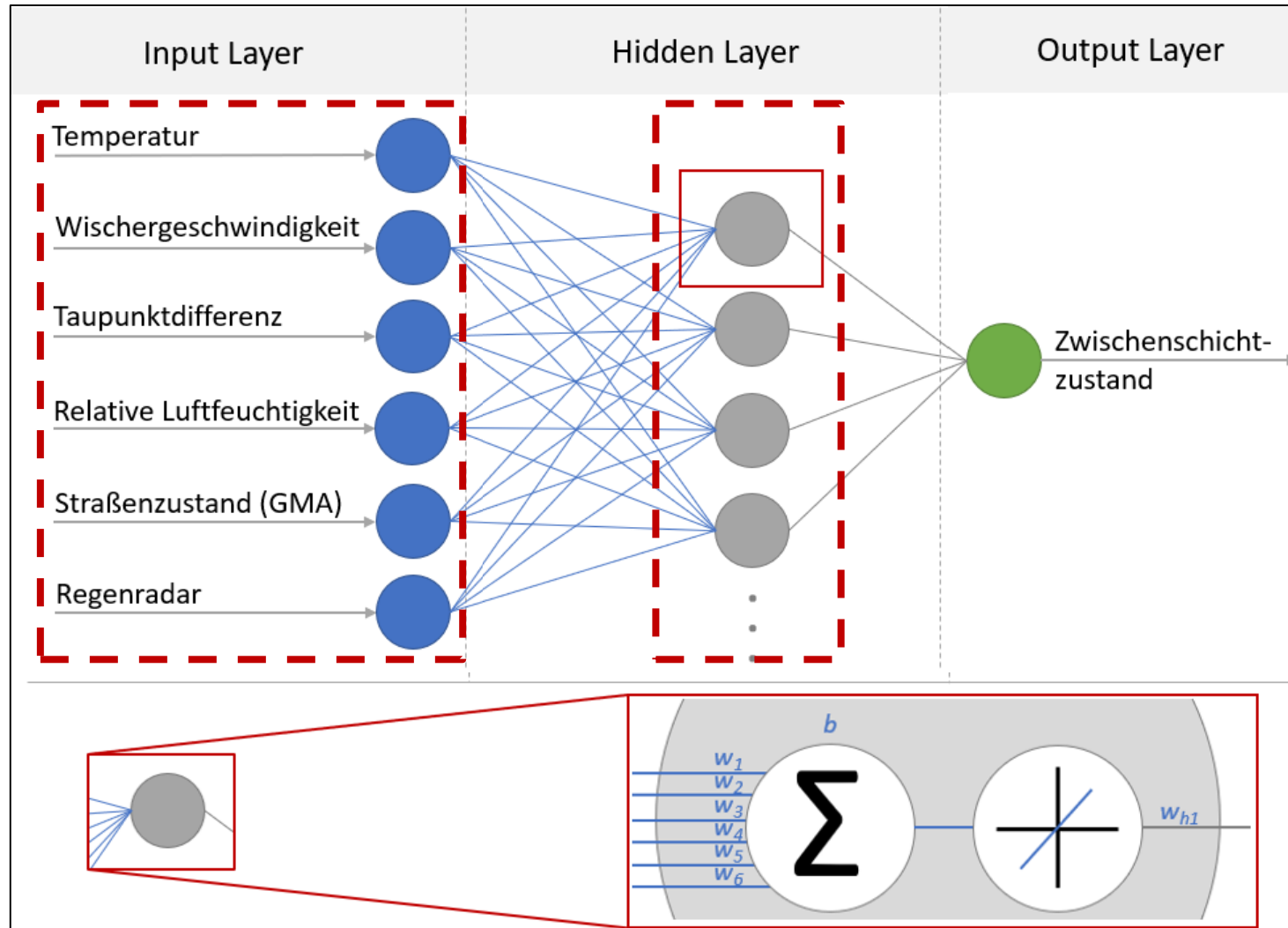


Abbildung 19:  
Schematischer  
Aufbau des  
Zweischichtigen  
Künstlich  
Neuronalen  
Netzes

# Künstlich Neuronales Netz

## Neuronenanzahl

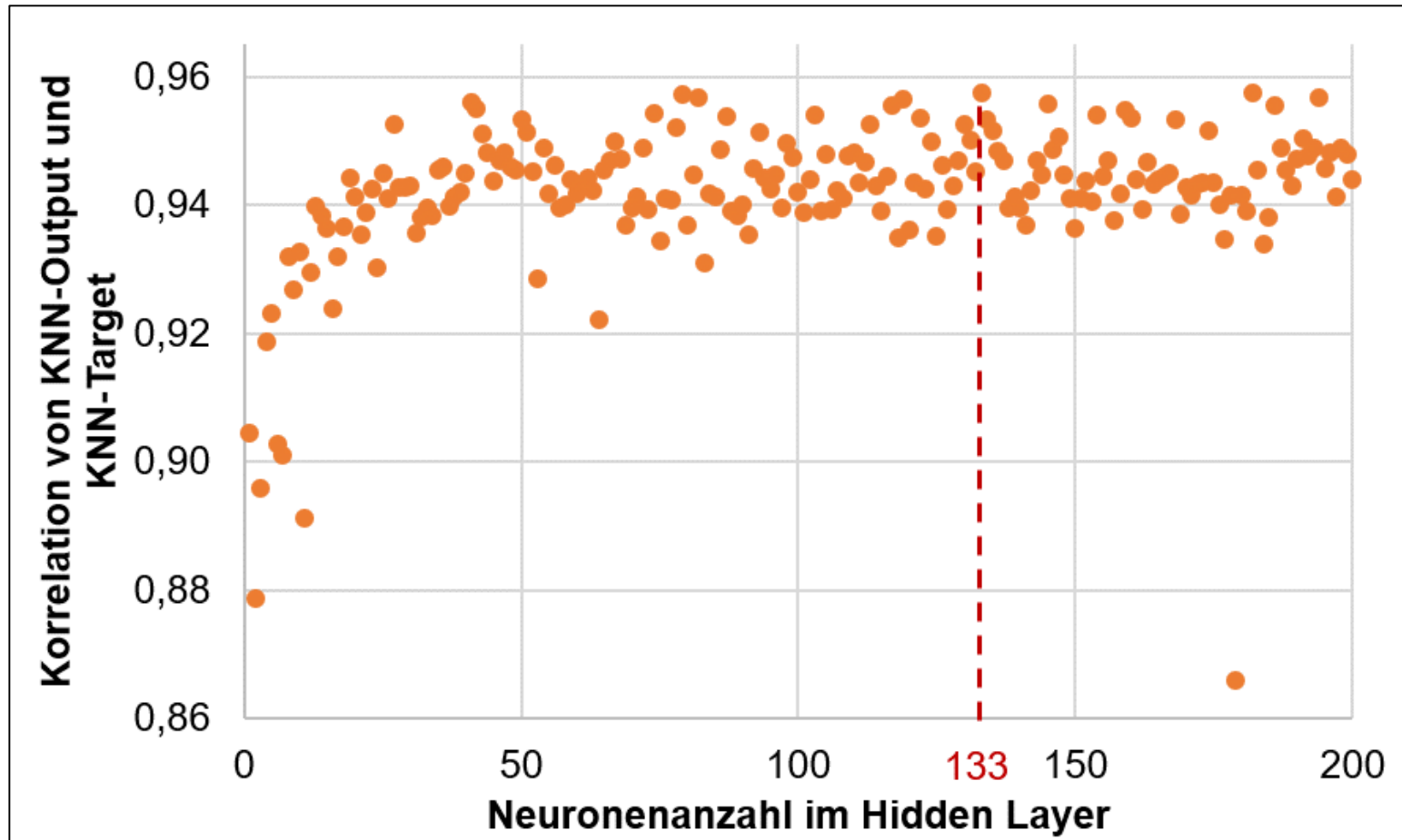


Abbildung 20: Korrelation zwischen Output und Target für eine Variation der Neuronenanzahl von 1 bis 200





# Künstlich Neuronales Netz

## Aufbau: Zweischichtiges KNN

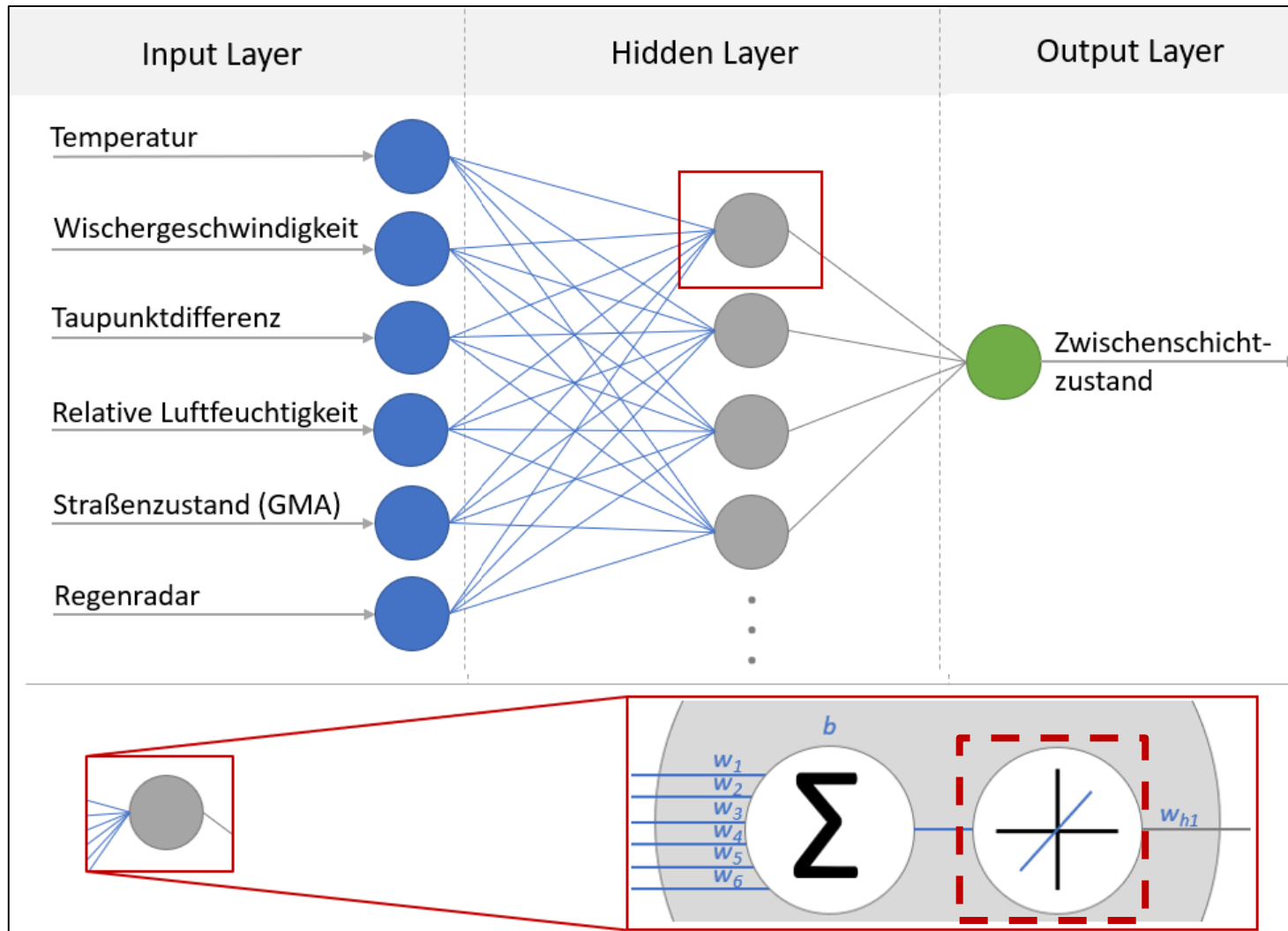


Abbildung 21:  
Schematischer  
Aufbau des  
Künstlich  
Neuronalen  
Netzes



# Künstlich Neuronales Netz

## Aktivierungsfunktion

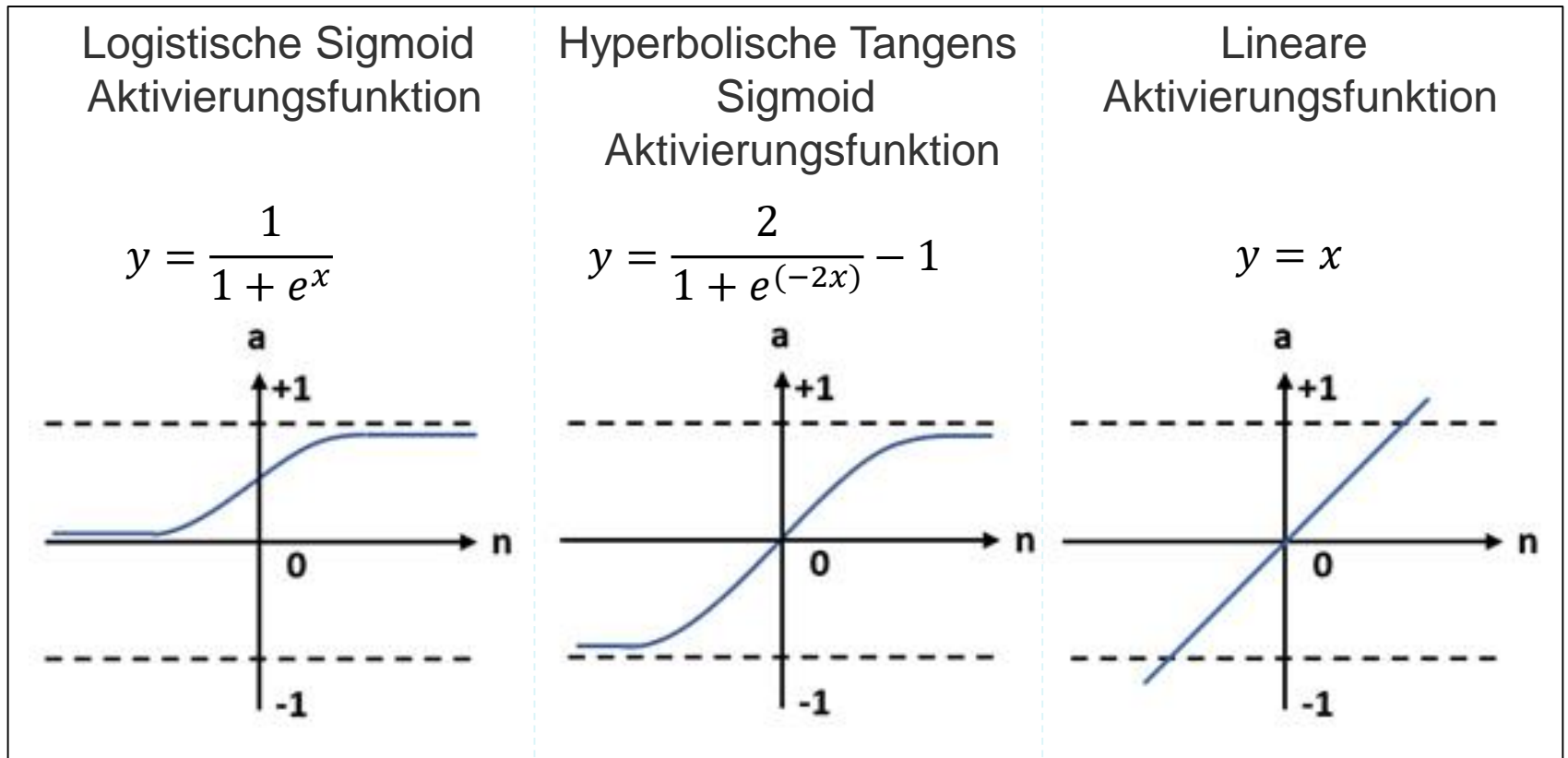


Abbildung 22: Beispiele für drei mögliche Aktivierungsfunktionen für ein Künstlich Neuronales Netz



# Künstlich Neuronales Netz

## Lernvorgang und Trainingsabbruch

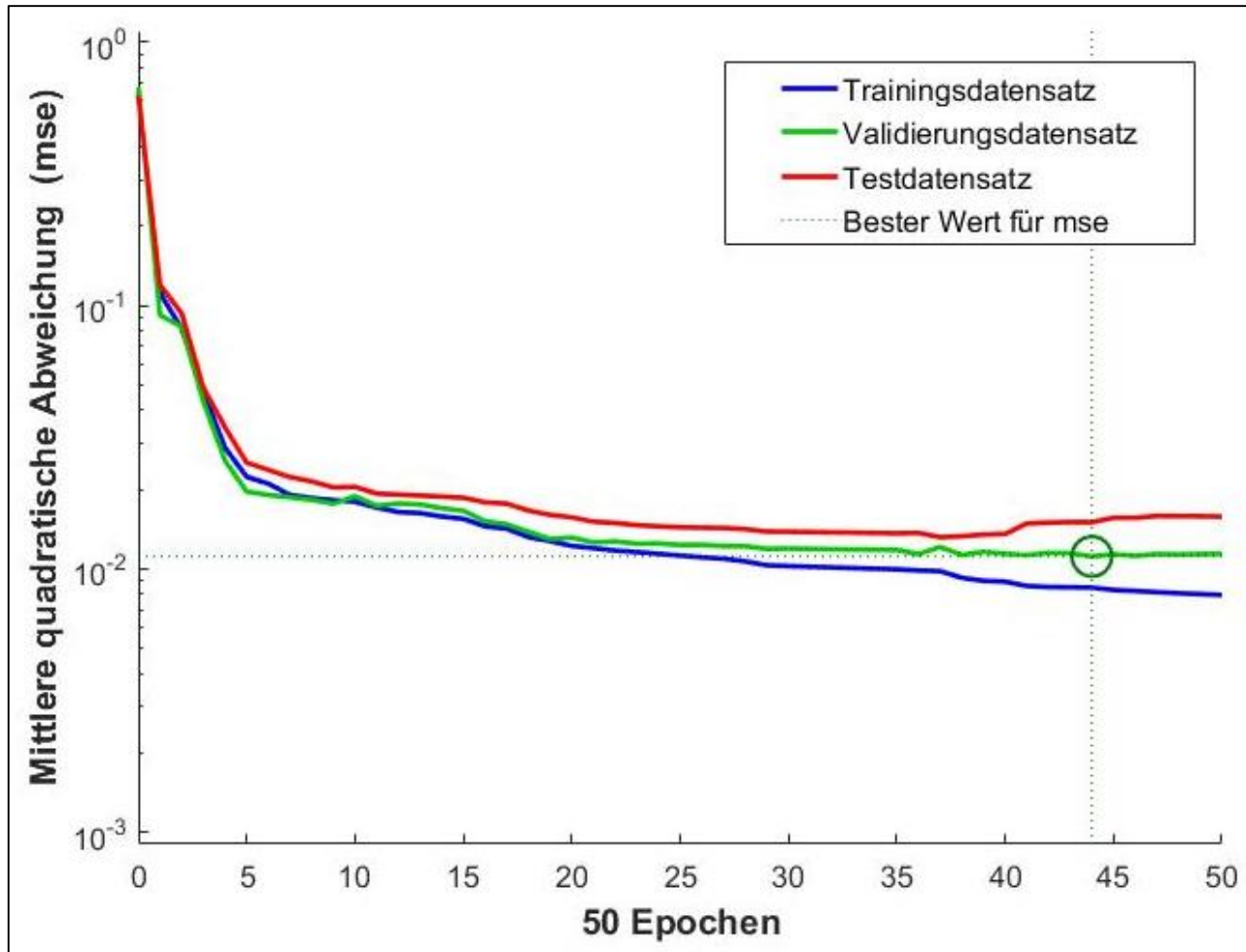
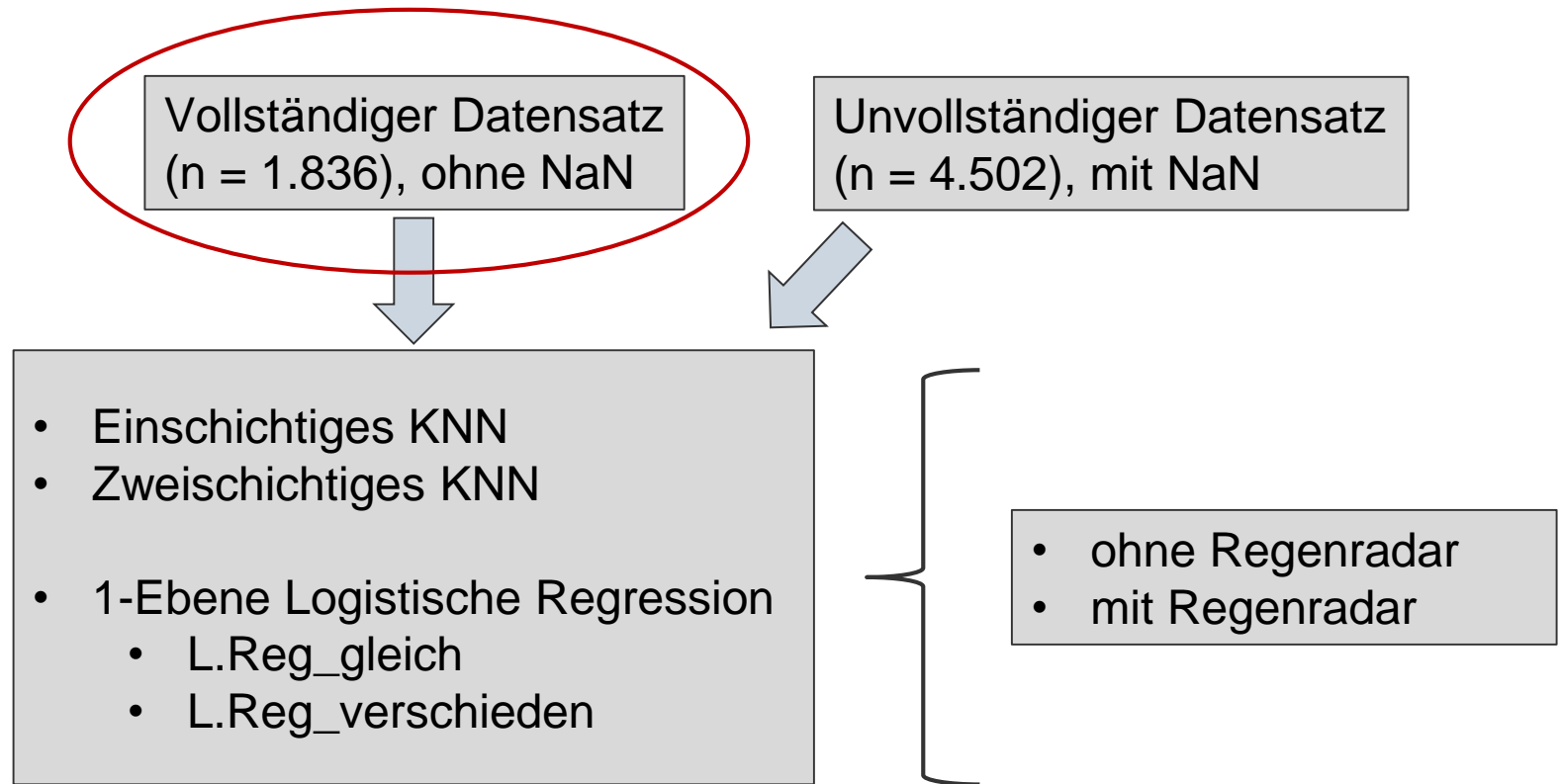


Abbildung 23:  
Beispieldarstellung  
für den Lernvorgang  
und den  
Trainingsabbruch  
eines  
Künstlich  
Neuronalen Netzes



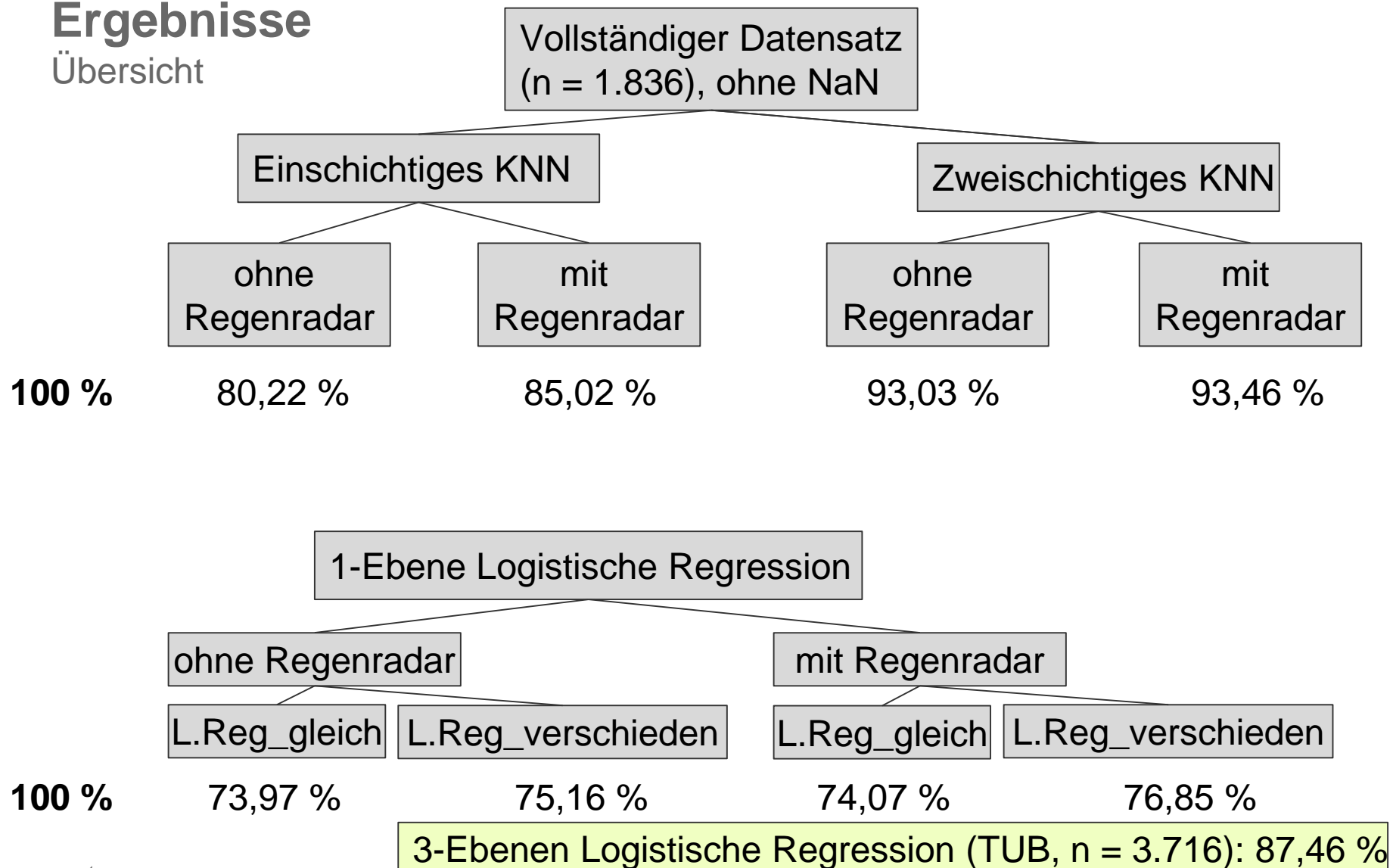
# Ergebnisse

## Übersicht



# Ergebnisse

## Übersicht



# Ergebnisse

## Einschichtiges und Zweischichtiges KNN: Vergleich

	Zweischichtiges KNN	
	Vollständiger Datensatz (n = 1.836)	Unvollständiger Datensatz (n = 4.502)
<b>Trefferquote 100 %</b>	93,46 %	92,83 %
<b>Trefferquote 15 %</b>	91,30 %	89,65 %

	Logistische Regression		
	Vollständiger Datensatz 1-Ebene (n = 1.836)	Unvollständiger Datensatz 1-Ebene (n = 4.502)	Unvollständiger Datensatz 3-Ebenen TUB (n = 3.716)
<b>Trefferquote 100 %</b>	76,85 %	76,68 %	87,50 %

**Vollständiger Datensatz:** ohne NaN; **Unvollständiger Datensatz:** mit NaN





# Zusammenfassung

## Fazit und Ausblick

- Anlernen des KNN mit weiteren Eingangsgrößen
- Anlernen des KNN auf 3-Ebenen
- Anwenden binominaler Logistischer Regression
- Nutzung zusätzlicher Informationen zur Verbesserung der Zwischenschichtschätzung
  - Akustik
  - Kameradaten
- Anpassen des Modells an andere Klimazonen
  - Qualität frei verfügbarer Wetterstationen

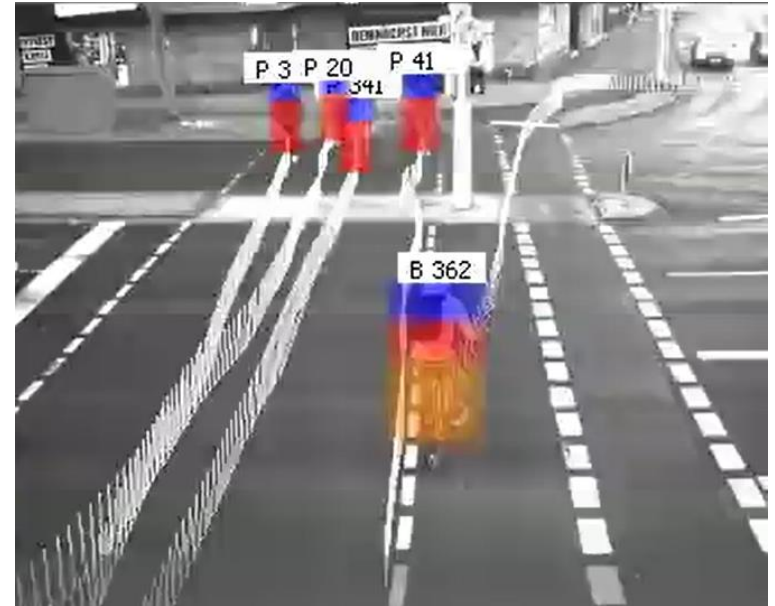


Abbildung 24-26: Messfahrt  
Versuchsgelände Linthe, Seitenstraße  
und Hauptstraße in Schweden



# Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

Noch Bedarf an einem BA / MA Thema?



## Kontakt:

Claudia Leschik

TS-IGM-MOV BS - Informationsgewinnung und Modellierung BS

Claudia.Leschik@dlr.de

+49 30 67055 8006



# Abbildungsverzeichnis

Soweit nicht weiter angegeben, handelt es sich bei Abbildungen/Tabellen ohne Quelle, um eigene Abbildungen/Tabellen.

- Abbildung 2:** HKL BAUMASCHINEN GmbH. Verkehrszeichen VZ 114  
"Schleudergefahr",  
<https://www.hkl-baushop.de/Produkte/Absperrentechnik/Verkehrszeichen-und-Schilder/Dreiecke/Verkehrszeichen-VZ-114-Schleudergefahr.html>; geprüft am 15.01.2020
- Abbildung 4:** Interpneu Handelsgesellschaft mbH. Reifen-Check: Sicher in Richtung Winterurlaub.  
[https://www.reifen1plus.de/fileadmin/\\_processed\\_/3/f/csm\\_PLATIN-3mm\\_35338367d3.jpg](https://www.reifen1plus.de/fileadmin/_processed_/3/f/csm_PLATIN-3mm_35338367d3.jpg);  
geprüft am: 10.01.2020
- Abbildung 5:** Twist Zeitschriften Verlag GmbH. Das fahrerlose Auto: Was die Zukunft bringt und was es jetzt schon gibt!  
<https://www.kosmo.at/das-fahrerlose-auto-was-die-zukunft-bringt-und-was-es-jetzt-schon-gibt/>;  
geprüft am 10.01.2020
- Abbildung 6:** Müller, G. ; Leschik, C. ; Gregull, V. ; Sieron, N. ; Müller, S: Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen - Umsetzung und Anwendung. In: FAT-Schriftenreihe (2019), Nr. 322, S. 101
- Abbildung 13:** The Meteo Company BV: Niederschlagsradar.de, Archiv. <https://www.niederschlagsradar.de/hist.aspx>;  
geprüft am 11.01.2020

**Abbildungen 1 (Mitte), 3, 7, 9-12, 14-17, 24-26:** Fachgebiet Kraftfahrzeuge der TU Berlin

**Abbildung der Abschlussfolie:** DLR TS IGM-MOV

